

Теоретичні та прикладні питання

Вуглецедепонувальна здатність насадження *Quercus robur* L. парку «Феофанія», м. Київ

Юлія СЕРГІЇВНА ПРОКОПУК

PROKOPUK YU.S. (2017). **Carbon sequestration ability of *Quercus robur* L. plantation in Feofania Park, Kyiv.** *Chornomors'k. bot. z.*, **13** (3): 258–265. doi:10.14255/2308-9628/17.133/1.

Carbon sequestration in young pedunculate oak (*Quercus robur* L.) trees stems growing in a Feofania Park stand were reconstructed in this article. We used standard dendrochronological approaches to obtain tree-ring and basal area chronologies (1932–2015). The mean radial growth rate of studied trees at age 65 was 3.18 ± 1.06 mm per year and ranged from 1.86 to 5.49 mm per year. In 2015, a carbon mass in an oak stem reached mean value of 366 ± 176 kg and ranged between 167 and 922 kg depending from a stem diameter. Pedunculate oak fixating ability increases from 2 and 5 kg carbon per year at age 20 and 30 to 10 kg carbon per year at 45–72.

Key words: radial growth, pedunculate oak, carbon storage

ПРОКОПУК Ю.С. (2017). **Вуглецедепонувальна здатність насадження *Quercus robur* L. парку «Феофанія», м. Київ.** *Чорноморськ. бот. ж.*, **13** (3): 258–265. doi:10.14255/2308-9628/17.133/1.

На основі деревно-кільцевої хронології (1932–2015 рр.) реконструйовано та оцінено вміст вуглецю у стовбуровій біомасі насадження дуба звичайного (*Quercus robur* L.) парку «Феофанія». Середній річний радіальний приріст у досліджених дерев з середнім віком 65 років становить $3,18 \pm 1,06$ мм та варіює в межах 1,86–5,49 мм. Станом на 2015 рік у стовбурі одного дерева в середньому накопичено 366 ± 176 кг вуглецю, що коливається в межах 167–922 кг залежно від величини діаметру дерева. Встановлено, що у дуба звичайного із збільшенням віку підвищується його вуглецедепонувальна здатність. У віці 20 років досліджені дерева в середньому накопичували 2 кг/рік, у 30 років – 5 кг/рік, у віці 45–72 роки близько 10 кг/рік.

Ключові слова: радіальний приріст, дуб черешчатий, депонований вуглець

ПРОКОПУК Ю.С. (2017). **Способность к депонированию углерода насаждения *Quercus robur* L. парка «Феофанія», г. Киев.** *Черноморск. бот. ж.*, **13** (3): 258–265. doi:10.14255/2308-9628/17.133/1.

На основе древесно-кольцевой хронологии (1932–2015 гг.) реконструировано и оценено содержание углерода в стволовой биомассе насаждения дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) парка «Феофанія». Средний годовой радиальный прирост у исследованных деревьев со средним возрастом 65 лет составляет $3,18 \pm 1,06$ мм и варьирует в пределах 1,86–5,49 мм. По состоянию на 2015 год в стволе одного дерева в среднем накоплено 366 ± 176 кг углерода. Установлено, что у дуба черешчатого с увеличением возраста повышается способность к депонированию углерода. В возрасте 20 лет исследованные деревья в среднем накапливали 2 кг в год, в 30 лет – 5 кг в год, максимальное значение ~ 10 кг в год было достигнуто в возрасте 45–72 года.

Ключевые слова: радиальный прирост, дуб черешчатый, депонированный углерод

Ліси є важливим компонентом наземного вуглецевого циклу, а лісова рослинність, утримуючи близько 80 % вуглецю – головним депо планети [DIXON et al., 1994]. Основним ресурсом акумульованого карбону в лісах є біомаса дерев, переважно їх стовбурова частина, а також мертва органічна речовина, підстилка та ґрунт.

Оцінка фіксації вуглецю лісовими екосистемами здійснюється переважно непрямими методами за матеріалами лісового кадастру, так як прямі методи є досить складними та вартісними. Серед поширених непрямих методів є використання різноманітних моделей або рівнянь біомаси та перерахунок об'єму запасу деревини в органічну масу або масу вуглецю за допомогою конверсійних коефіцієнтів [BROWN, 2002; SOMOGYI et al., 2007]. Більшість досліджень фітомаси в Україні здійснюється за методикою П.І. Лакиди [LAKYDA, 2002], що передбачає закладку тимчасових пробних площ.

Глобальна оцінка вуглецедепонувальної функції лісів показала, що в лісовій рослинності та ґрунті міститься близько $1,146 \times 10^{12}$ т карбону [DIXON et al., 1994]. За даними State of Europe's Forests [STATE..., 2015] оцінена біомаса лісів в Румунії містить 616,36 млн. т вуглецю, в Білорусії – 619,1 млн. т, Італії – 641 млн. т, в Польщі – 822 млн. т, у Франції – 1,364 млн. т. Загальна фітомаса лісів України становить 1523,5 млн. т, в якій депоновано близько 757,9 млн. т вуглецю, з яких 203,3 млн. т фіксовано дубовими насадженнями [LAKYDA et al., 2013].

Дуб звичайний (*Quercus robur* L.) є одною з головних лісоутворюючих порід, що складає близько 24% від лісового фонду України. Дуб як одна з довговічних деревних порід широко використовується в дендрохронологічних дослідженнях в Європі. Деревно-кільцева хронологія є прямим показником радіального приросту стовбура, який тісно пов'язаний з річним формуванням деревини та відповідним накопиченням вуглецю [BOURIAUD et al., 2005]. Поєднання вимірів хронології ширини річного кільця з дендрометричними параметрами дерева чи алометричними рівняннями дозволяють оцінити і реконструювати щорічний приріст біомаси і відповідно акумульованого в ній вуглецю [BAST et al., 2012].

Мета цієї роботи – на основі деревно-кільцевої хронології реконструювати щорічну варіацію стовбурової біомаси й акумульованого в ній вуглецю дуба звичайного в асоціації *Galeobdolon luteae-Carpinetum* Shevchyk, Bakalyna et V.Sl. 1996 на прикладі насаджень парку «Феофанія».

Матеріали та методи дослідження.

Місце дослідження. Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва (ППСПМ) «Феофанія» загальною площею близько 150 га знаходиться в південній правобережній частині м. Київ. Для території парку характерний долинно-балковий рельєф з найвищою точкою 189 м н.р.м., найнижча – 75 м н.р.м. [RADCHENKO, VAIRAK 2009]. Ґрунти сірі лісові, трапляються дерново-підзолисті та лучно-болотні [RADUN, 1985]. Переважну частину парку займає грабова діброва, яка разом з насадженнями національного природного парку (НПП) «Голосіївський» та урочища «Ліса гора» складала суцільний масив природного дубового лісу, про що свідчить наявність дубів віком 156–270 років, а вік окремих дерев сягає 300 і більше років [NETSVETOV, PROKORUK, 2016]. У 50-х роках в деревостані «Феофанії», пошкодженого під час війни, було проведено лісокультурні роботи та створено насадження дуба звичайного, д. червоного та інших порід. Саме на одній з таких ділянок проведені наші дослідження.

Збір зразків деревини. Зразки відбирали з 20 дерев дуба звичайного, які не мали візуальних ознак пошкоджень та зростають в межах 6 кварталу ППСПМ «Феофанія». Вимірювали висоту та діаметр на висоті 1,3 м кожного дерева. Відбирали не менше двох кернів з дерева буравом Преслера, Haglof (Швеція) на висоті 1,3 м у весняний період 2016 року.

Попередньо підготовлені керни сканували планшетним сканером «Epson V33» з роздільною здатністю 3200 dpi. Ширину річних кілець вимірювали програмою «AxioVision (Carl Zeiss)» з точністю до 0,01 мм. Наявність фальшивих кілець встановлювали під мікроскопом МБС-1. Шляхом перехресного датування радіального приросту із двох радіусів для кожного дерева укладали індивідуальні хронологічні серії. Якість датування та розрахунків стандартних статистичних параметрів оцінено з використанням програм «COFESHA» [GRISSINO-MAYER, 2001] та Excel.

Визначення депонування вуглецю. Депонування вуглецю в стовбуровій деревині дуба оцінювали на основі дендрохронологічного аналізу радіального приросту та даних лісовпорядних робіт парку «Феофанія». За виміряними діаметрами у 2016 році, враховуючи товщину кори для молодих дубів ~ 1 см та щорічним радіальним приростом розраховано кумулятивний приріст для кожного дерева та визначено хронологію площі поперечного перерізу. За даними лісовпорядних матеріалів парку 1958, 1979, 2000, 2004, 2013 років встановлено залежність між висотою та віком дуба (рис. 1), а також розраховано щорічний вертикальний приріст за рівнянням:

$$H_i = -0.0042A_i^2 + 0.7161A_i - 4.4692,$$

де H_i – висота дерева i -го року, A_i – вік дерева i -го року.

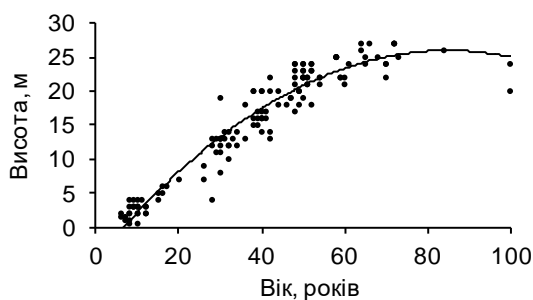


Рис. 1. Залежність висоти дерев *Q. robur* від віку за даними лісовпорядних матеріалів ППСМ «Феофанія».

Fig. 1. *Q. robur* height to age relationship according to Feofania Park forest inventory data.

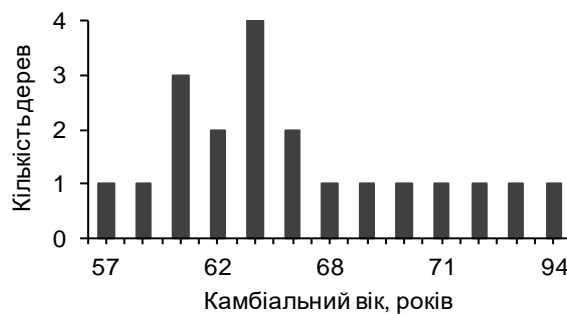


Рис. 2. Розподіл досліджених дерев *Q. robur* за камбіальним віком у 2016 році.

Fig. 2. *Q. robur* cambial age distribution in 2016.

Щорічну зміну об'єму стовбура кожного дослідженого дерева (V_i) розраховано за формулою:

$$V_i = S_i \times H_i / 3,$$

де S_i – площа поперечного перетину стовбура i -го року; H_i – висота дерева i -го року. Для розрахунку фітомаси стовбура використано щільність сухої речовини для стовбурної деревини дуба звичайного 575 кг/м^3 [NETSVETOV, SUSLOVA, 2009], для визначення маси депонованого в ній вуглецю коефіцієнт 0,5 [MATTHEWS, 1993].

Результати досліджень та їх обговорення

Дендрохронологічна статистика й радіальний приріст. Відібрано 62 керни з 20 дерев дуба звичайного, що містять 3120 річних кілець, сформованих з 1932 по 2015 роки. Мінімальний камбіальний вік досліджених дерев у 2016 році становив 57 років, максимальний – 94 роки (рис. 2), вимірний діаметр стовбура в корі на висоті 1,3 м ($D_{1.3}$) становить від 31,8 до 74,2 см. Середній річний радіальний приріст (MRW) складає $3,18 \pm 1,06$ мм і варіює в межах 1,86–5,49 мм (рис. 3, табл. 1). Коливання радіального приросту значне, коефіцієнт варіації становить 34,5%, медіана – 3,10 мм. Розподіл приросту плосковершинний, коефіцієнт ексцесу – $-0,13$, від'ємний, тобто середнє значення більше за очікуване, коефіцієнт асиметрії – $0,36$ (табл. 1).

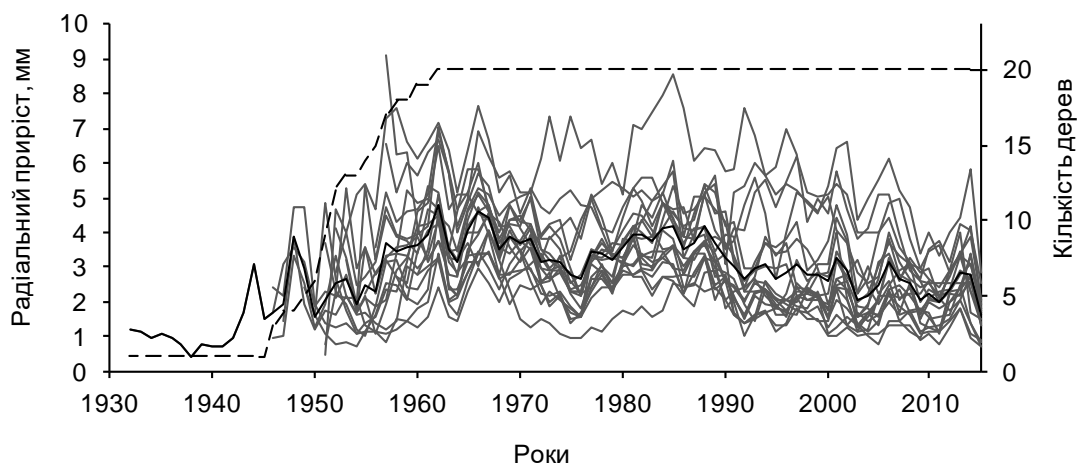


Рис. 3. Узагальнена хронологія (чорний), індивідуальні серії (сірий) радіального приросту та кількість дерев (пунктир) *Q. robur* по роках.

Fig. 3. *Q. robur* tree ring width mean chronology (black line), individual series (grey lines), and number of trees (dotted line) for years.

Таблиця 1
Статистичні показники радіального приросту *Q. robur*

Statistics of *Q. robur* radial growth

Table 1

| № дерева | Діаметр (D _{1.3}), см | Кількість кілець | Середня ширина річного кільця (MRW), мм | Стандартне відхилення, ± мм | Коефіцієнт варіації, % | Медіана, мм | Коефіцієнт ексцесу | Коефіцієнт асиметрії |
|----------|---------------------------------|------------------|---|-----------------------------|------------------------|-------------|--------------------|----------------------|
| 1. | 50,6 | 70 | 3,17 | 1,13 | 35,7 | 3,18 | -0,34 | 0,25 |
| 2. | 45,2 | 67 | 2,88 | 1,21 | 41,9 | 2,52 | -0,90 | 0,23 |
| 3. | 38,8 | 70 | 2,49 | 0,62 | 25,1 | 2,50 | -0,52 | -0,37 |
| 4. | 40,4 | 64 | 2,63 | 0,75 | 28,7 | 2,59 | -0,47 | 0,34 |
| 5. | 33,7 | 84 | 1,86 | 0,82 | 44,4 | 1,70 | -0,94 | 0,41 |
| 6. | 39,5 | 65 | 2,58 | 0,93 | 36,0 | 2,38 | 0,72 | 0,86 |
| 7. | 31,8 | 63 | 2,11 | 0,88 | 41,7 | 1,78 | 0,30 | 1,01 |
| 8. | 49,3 | 64 | 3,35 | 1,09 | 32,6 | 3,24 | 1,01 | 0,91 |
| 9. | 37,2 | 69 | 2,35 | 1,05 | 44,9 | 2,15 | -0,31 | 0,64 |
| 10. | 50,0 | 61 | 3,65 | 1,06 | 29,0 | 3,63 | -0,82 | 0,17 |
| 11. | 60,5 | 65 | 4,35 | 1,61 | 37,0 | 4,62 | -0,13 | -0,22 |
| 12. | 74,2 | 59 | 5,49 | 1,57 | 28,5 | 5,78 | -0,06 | -0,64 |
| 13. | 60,8 | 58 | 4,63 | 0,93 | 20,1 | 4,74 | -0,33 | -0,20 |
| 14. | 41,1 | 56 | 2,90 | 1,05 | 36,1 | 2,68 | -0,89 | 0,44 |
| 15. | 49,3 | 59 | 4,00 | 1,37 | 34,3 | 4,00 | 1,93 | 0,78 |
| 16. | 41,1 | 66 | 2,72 | 1,37 | 50,4 | 2,38 | -0,86 | 0,58 |
| 17. | 40,1 | 64 | 2,82 | 0,87 | 30,9 | 2,66 | -0,69 | 0,41 |
| 18. | 46,2 | 54 | 3,65 | 0,83 | 22,9 | 3,65 | -0,66 | 0,05 |
| 19. | 37,9 | 65 | 2,58 | 1,05 | 40,6 | 2,54 | -0,45 | 0,35 |
| 20. | 46,8 | 60 | 3,43 | 1,02 | 29,8 | 3,23 | 1,78 | 1,18 |
| Середнє | | | 3,18 | 1,06 | 34,54 | 3,10 | -0,13 | 0,36 |

Середня довжина індивідуальних хронологічних серій, тобто кількість датованих кілець в кернах становить 50 років. Значення середньої чутливості – 0,214, що свідчить про екологічну відповідність умов довкілля фізіологічним потребам дуба звичайного. Середня автокореляція першого порядку – 0,673, кореляція між індивідуальними серіями – 0,563, що вказує на надійність серії.

Радіальний приріст індивідуальних серій дуба звичайного (рис. 3) характеризується синхронністю, що говорить про реакцію досліджених дерев на вплив факторів навколишнього середовища. В цілому середній радіальний приріст дубів «Феофанії» (табл. 1) узгоджується з приростом лісових культур дуба звичайного, створених та відновлених у 50-ті роки в південно-східній Англії, значення якого становить $2,37 \pm 0,43$ мм [SANDERS et al., 2014]. Схожий темп радіального росту дуба звичайного і в інших країнах Європи. В насадженнях Австрії дерева віком 87 та 86 років мають середній приріст $3,29 \pm 1,33$ мм та $2,08 \pm 1,09$ мм, в Угорщині віком 91 та 71 рік – $2,49 \pm 1,15$ мм та $3,50 \pm 1,60$ мм, відповідно [CUFAR et al., 2014], в Румунії віком 45 та 61 рік – $2,32 \pm 0,414$ мм, $2,17 \pm 0,28$ мм, відповідно [POPA et al., 2013], в центральній Польщі віком 66 років – $2,43 \pm 0,53$ мм [BRONISZ et al., 2012]. Приріст досліджених дерев дуба звичайного парку «Феофанія» ($1,86$ – $5,49$ мм) значно більший у порівнянні з радіальним приростом середньовікових дубових насаджень зеленої зони м. Харкова ($\sim 0,4$ – $\sim 4,1$ мм) [KOVAL, KOSTIASHKIN, 2015].

Депонування вуглецю. Накопичення вуглецю в стовбуровій деревині досліджених дерев визначали на основі розрахунку щорічного приросту площі поперечного перерізу стовбура. Станом на 2015 рік найменше значення площі поперечного перерізу становило $0,07$ м² при $D_{1.3}$ в корі 31,8 см, найбільше – $0,41$ м² при $D_{1.3}$ – 74,2 см (рис. 4).

Депонування вуглецю в стовбурах досліджених дерев дуба звичайного впродовж 1932–2015 років має рівномірно зростаючий характер, що тісно пов'язано із щорічним збільшенням площі поперечного перерізу, вертикальним приростом дерева та відповідного збільшення приросту стовбурової фітомаси. У 2015 році середня маса вуглецю досліджених дерев *Q. robur* парку «Феофанія» становила 366 ± 176 кг та варіювала в межах 167–922 кг залежно від значення $D_{1.3}$ (рис. 5).

Щорічне накопичення вуглецю в стовбурах досліджених дерев має зростаючий тренд, а його середнє значення досягало свого максимуму в 2007–2008 та 2013–2014 роках – 11–12 кг/рік (рис. 6).

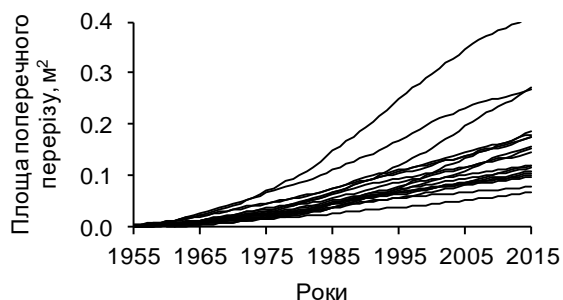


Рис. 4. Кумулятивні криві приросту площі поперечного перерізу *Q. robur*.
Fig. 4. Cumulative annual basal area increment of *Q. robur* trees.

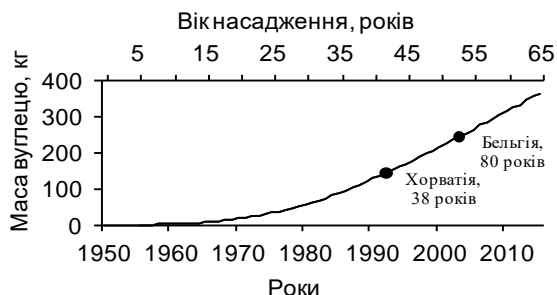


Рис. 5. Кумулятивна крива усередненої маси накопиченого вуглецю в стовбуровій деревині *Q. robur*. Точками позначено вміст вуглецю в деревостані Хорватії та Бельгії (див. текст).

Fig. 5. Cumulative curve of average carbon storage in *Q. robur* stem. Points indicate the level of carbon stocks in Croatia and Belgium forests (see the text).

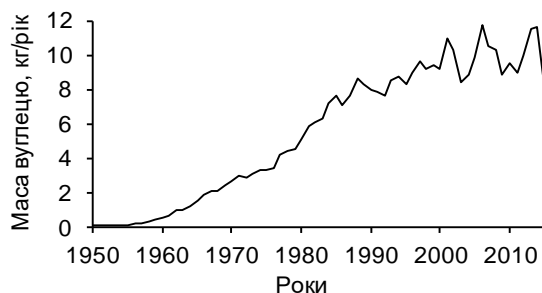


Рис. 6. Хронологія середньої річної маси вуглецю в стовбуровій деревині *Q. robur*.

Fig. 6. Chronology of average annual carbon mass in *Q. robur* stem.

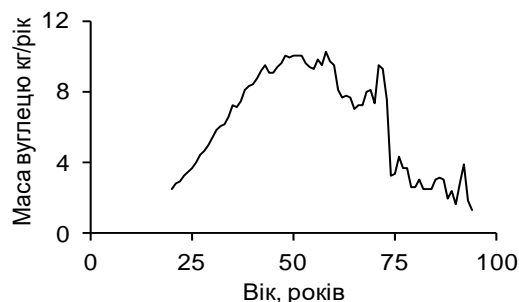


Рис. 7. Залежність середньої річної маси вуглецю в стовбуровій деревині від віку *Q. robur*.

Fig. 7. Stem average annual carbon mass to age dependency for *Q. robur*.

З віком у дуба звичайного збільшується загальна маса стовбурової деревини та депонованого в ній вуглецю. У віці 20 років досліджені дерева в середньому накопичували 2 кг/рік, у 30 років – 5 кг/рік, максимально депонували вуглець у віці 45–70 років – 10 кг/рік (рис. 7). Спад середньої вуглецедепонувальної функції після 70 років пов'язаний з наявністю серед досліджених дубів лише одного віком більше 72 років. Середній радіальний приріст цього дерева становить 1,86 мм, що значно менше від середнього значення для усієї вибірки.

Старовікові ліси, накопичуючи біомасу століттями, здатні акумулювати вуглець у значно більших кількостях, ніж молоді чи середньовікові насадження [CAREY et al., 2001; LUYSSAERT et al., 2008]. Так, оцінена наземна біомаса заповідного вікового листяного лісу в долині річки Тічино, Італія становила 348 т га⁻¹ та відповідно 174 т га⁻¹ вуглецю, з якої 63 % складає біомаса дуба звичайного [GRANATA et al., 2016]. Запас наземної біомаси 80-річного буково-дубового лісу наукового призначення в Бельгії становив 123 т га⁻¹, а накопиченого вуглецю – 79 т га⁻¹ [WALLE et al., 2001].

Визначена середня маса накопиченого вуглецю в стовбуровій деревині досліджених дубів парку «Феофанія» відповідає даним інших країн Європи. Так, у 38-річного грабово-дубового насадження Хорватії щільність вуглецю в стовбурах *Q. robur* на момент проведення досліджень становила 31,54 т га⁻¹ [PALADINIĆ et al., 2009], що в розрахунку на одне дерево складало близько 143 кг. Згідно нашої оцінки у 1992 році, коли середній вік досліджених дубів Феофанії був 42 роки, середня маса вуглецю становила 144 кг. У 80-річному буково-дубовому насадженні в Бельгії запас вуглецю в стовбуровій фракції дуба становив 41 т га⁻¹ [WALLE et al., 2001], що в перерахунку на одне дерево складало 247 кг. У дослідженому нами деревостані такий рівень акумульованого вуглецю було досягнуто при середньому віці дерев 53 роки (рис. 5).

Тенденція збільшення стовбурової фітомаси та накопиченого у ній вуглецю з віком дуба звичайного підтверджується і нашими попередніми дослідженнями вікових дерев *Q. robur* у парку «Феофанія» [PROKOPUK, NETSVETOV, 2016]. В середньому в стовбуровій деревині дуба звичайного віком від 156 до 274 років та діаметром ($D_{1,3}$) від 57,6 до 144,2 см станом на 2014 рік акумульовано 1787 кг вуглецю, що в п'ять разів більше ніж у дерев віком 57–94 роки та діаметром ($D_{1,3}$) 31,8–74,2 см. В лісах віком від 15 до 800 років чиста екосистемна продуктивність (баланс вуглецю) як правило позитивна [LUYSSAERT et al., 2008]. Однак старі дерева через пошкодження в стовбурі та руйнування деревини не тільки зв'язують вуглець, але й виділяють його в атмосферу, але кількість повернутого вуглецю важко оцінити.

Висновки

Дослідження депонування вуглецю в стовбуровій деревині дуба звичайного на основі дендрохронологічного аналізу дало змогу реконструювати щорічну варіацію приросту стовбурової біомаси й накопиченого вуглецю. Отримані дані свідчать про підвищення здатності дуба звичайного до акумуляції вуглецю із збільшенням віку. У культурі в ППСМП «Феофанія» дерева *Q. robur* у віці 60–70 років накопичують вуглець на рівні ~8 кг/рік. Загальна маса вуглецю у стовбурі дерев цього віку – 316 кг, відповідно, що становить 1/5 від значень цих показників вікових (150–200 років) дерев ППСМП «Феофанія». Встановлені закономірності можна використовувати при плануванні термінів експлуатації дубових насаджень заповідного фонду та рекреаційного призначення з урахуванням ефективності вуглецедепонувальної функції екосистем. Подальшого вивчення потребують процеси прижиттєвого розпаду деревини та вивільнення вуглецю у дуба звичайного та інших лісоутворюючих видів.

Подяка

Автор висловлює подяку анонівному рецензенту за змістовні зауваження, що дозволили суттєво покращити текст статті, та Нецветову Максиму Вікторовичу за допомогу у зборі та обробці матеріалу.

Referenses

- BABST F., BOURIAUD O., FRANK D. (2012). A new sampling strategy for tree-ring based forest productivity estimates. *ATR TRACE Proceedings*, **10**: 62–70.
- BRONISZ A., BIJAK S., BRONISZ K., ZASADA M. (2012). Climate influence on radial increment of oak (*Quercus* sp.) in Central Poland. *Geochronometria*, **39** (4): 276–284.
- BROWN S. (2002). Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution*, **116**: 363–372.
- BOURIAUD O., BRED A., DUPOUEY J., GRANIER A. (2005). Is ring width a reliable proxy for stem biomass increment? A case study in European beech. *Canadian Journal of Forest Research*, **35**: 2920–2933.
- CAREY E.V., SALA A., KEANE R., CALLAWAY R.M. (2001). Are old forests underestimated as global carbon sinks? *Global Change Biology*, **7**: 339–344.
- CUFAR K., GRABNER M., MORGOS A., MARTÍNEZ DEL CASTILLO E., MERELA M., DE LUIS M. (2014). Common climatic signals affecting oak tree-ring growth in SE Central Europe. *Trees*, **28** (5): 1267–1277.
- DIXON R.K., BROWN S., HOUGHTON R.A., SOLOMON A.M., TREXLER M.S., WISNIEWSKI J. (1994). Carbon pools and flux of Global forest ecosystems. *Science*, **263**: 185–190.
- GRANATA M.U., GRATANI L., BRACCO F., SARTORI F., CATONI R. (2016). Carbon stock estimation in an unmanaged old-growth forest: a case study from a broad-leaf deciduous forest in the Northwest of Italy. *International Forestry Review*, **18** (4): 444–451.
- GRISSINO-MAYER H.D. (2001). Evaluating Crossdating Accuracy: A Manual and Tutorial for the Computer Program COFECHA. *Tree-Ring Research*, **57** (2): 205–221.
- KOVAL I.M., KOSTIASHKIN D.S. (2015). *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, **25** (6): 52–58. [КОВАЛЬ І.М., КОСТЯШКІН Д.С. (2015) Вплив клімату та рекреації на формування шарів річної деревини ранньої та пізньої форм *Quercus robur* L. у зеленій зоні Харкова. *Науковий вісник НЛТУ України*, **25** (6): 52–58]
- LAKYDA P.I. (2002). *Fitomasa lisiv Urainy*. Ternopil: Zbruch: 256 p. [ЛАКИДА П.І. (2002). *Фітомаса лісів України: монографія*. Тернопіль: Збруч: 256 с.]
- LAKYDA P.I., SHVYDENKO A.Z., SHCHERASHCHENKO D.H., VASYLYSHYN R.D., BILOUS A.M., LAKYDA I.P., MATUSHEVYCH L.M. (2013). *Bioresursy i pryrodokorustuvannia*, **5** (5–6): 99–106. [ЛАКИДА П.І., ШВИДЕНКО А.З., ЩЕПАЩЕНКО Д.Г., ВАСИЛИШИН Р.Д., БЛОУС А.М., ЛАКИДА І.П., МАТУШЕВИЧ Л.М. (2013) Біотична продуктивність лісів України в європейському екоресурсному вимірі. *Біоресурси і природокористування*, **5** (5–6): 99–106]
- LUYSSAERT S., SCHULZE E.D., BORNER A., KNOHL A., HESSENMOLLER D., LAW B.E., CIAIS P., GRACE J. (2008). Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature*, **455**: 213–215.
- MATTHEWS G. (1993). *The carbon content of trees. Forestry Commission Technical Paper 4*. Forestry Commission: Edinburgh: 21 p.
- NETSVETOV M.V., SUSLOVA E.P. (2009). *Promyshlennaia botanika*, **9**: 60–67. [НЕЦВЕТОВ М.В., СУСЛОВА Е.П. (2009). Механическая устойчивость деревьев и кустарников к вибрационным нагрузкам. *Промышленная ботаника*, **9**: 60–67]
- NETSVETOV M.V., PROKOPUK YU.S. (2016). *Ukr. Bot. J.*, **73** (2): 126–133. [НЕЦВЕТОВ М.В., ПРОКОПУК Ю.С. (2016). Вік та радіальний приріст старовікових дерев *Quercus robur* парку «Феофанія». *Укр. бот. журн.*, **73** (2): 126–133]

- PADUN I.M. (1985). *Ukr. Bot. J.*, **42** (2): 17–20. [ПАДУН І.М. (1985). Сучасний стан рослинності урочища Феофанія. *Укр. бот. журн.*, **42** (2): 17–20]
- PALADINIĆ E., VULETIĆ D., MARTINIĆ I., MARJANOVIĆ H., INDIR K., BENKO M., NOVOTNY V. (2009). Forest biomass and sequestered carbon estimation according to main tree components on the forest stand scale. *Periodicum Biologorum*, **111** (4): 459–466.
- POPA I., LECA S., CRĂCIUNESCU A., SIDOR C., BADEA O. (2013). Dendroclimatic response variability of *Quercus* species in the Romanian Intensive Forest Monitoring Network. *Not Bot Horti Agrobi*, **41** (1): 326–332.
- PROKOPUK YU.S., NEYSVETOV M.V. (2016). *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, **26** (3): 158–164. [ПРОКОПУК Ю.С., НЕЦВЕТОВ М.В. (2016). Динаміка депонування вуглецю в стовбуровій біомасі *Quercus robur* L. парку «Феофанія». *Науковий вісник НЛТУ України*, **26** (3): 158–164]
- RADCHENKO V.H., BAIRAK O.M. (2009). *Zhyva Ukraina*, **1–2**: 2–4. [РАДЧЕНКО В.Г., БАЙРАК О.М. (2009). Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва «Феофанія»: історія створення, соціально-екологічна роль, шляхи збереження. *Жива Україна*, **1–2**: 2–4]
- SANDERS T.G.M., PITMAN R., BROADMEADOW M.S.G. (2014). Species-specific climate response of oaks (*Quercus* spp.) under identical environmental conditions. *iForest*, **7**: 61–69.
- SOMOGYI Z., CIENCIALA E., MÄKIPÄÄ R., MUUKKONEN P., LEHTONEN A., WEISS P. (2007). Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. *Eur. J. Forest Res.*, **126**: 197–207.
- STATE of Europe's Forests (2015). *FAO/Forest Europe report. European forests: status, trends and policy responses*. 341 p.
- WALLE I.V., MUSSCH S., SAMSON R., LUST N., LEMEURE R. (2001). The above and belowground carbon pools of two mixed deciduous forest stands located in East-Flanders (Belgium). *Annals of Forest Science*, **58**: 507–517.

Рекомендує до друку
Ходосовцев О.Є.

Отримано 11.01.2017

Адреса автора:

Ю.С. Прокопук
Інститут еволюційної екології
НАН України,
вул. акад. Лебедева, 37
Київ 03143
Україна
e-mail: ju.prokopuk91@gmail.com

Author address:

Yu.S. Prokopuk
Institute for evolutionary ecology
NAS Ukraine
37 Lebedeva str.
Kiev 03143
Ukraine
e-mail: ju.prokopuk91@gmail.com